

Applications and Prospects of Energy Efficiency and Discharge Reduction Technology in Coking Industry

Buxin Su, Jianliang Zhang, Hongwei Guo, Haibin Zuo, Zhengjian Liu, Tianjun Yang

School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology Beijing, 100083, Beijing, China
subuxin2005@163.com

Abstract: The article mainly introduce the current situation of research and application about technologies of energy saving and emission reduction like bio-briquette(coke) , co-coking of coal with waste plastic and Coke Oven Gas Injection etc. in coking industry .Also analysis the advantages of non-recovery coking system and coking system SCOPE21 in Energy saving and Environmental protection. Through the researches above, promote the technology of energy saving and emission reduction and sustainable development in coking industry .

Keywords: energy saving and emission reduction; coking; current situation

节能减排技术在焦化工业中的应用现状及展望

苏步新, 张建良, 国宏伟, 左海滨, 刘征建, 杨天钧

北京科技大学冶金与生态工程学院, 北京, 中国, 100083

subuxin2005@163.com

摘要: 本文重点介绍了生物质型煤(焦), 煤与废塑料共焦化和焦炉煤气高炉喷吹等节能减排技术在焦化工业的研究和应用现状。并研究分析了无回收炼焦系统和 SCOPE21 炼焦系统节能环保方面的优点。通过以上研究, 促进焦化工业的节能减排技术进步和可持续发展。

关键词: 节能减排; 焦化; 现状

1 引言

节能减排就是节约能源、降低能源消耗、减少污染物排放。《中华人民共和国节约能源法》所称节约能源(简称节能), 是指加强用能管理, 采取技术上可行、经济上合理以及环境和社会可以承受的措施, 从能源生产到消费的各个环节, 降低消耗、减少损失和污染物排放、制止浪费, 有效、合理地利用能源。减排, 就是节约能耗降低废气排放。

随着世界资源的枯竭, 气候的逐渐异常, 能源环保形势日益严峻, “节能减排”正成为社会关注的焦点。钢铁生产是传统的高耗能过程, 所耗能源以煤为主, 其中, 炼铁过程的能源资源消耗量巨大, 而铁前系统耗能约占企业总耗电量的 60%~70%^[1]。在铁前的烧结、球团、焦化、炼铁四个工序中, 铁、烧工序已用有若干节能技术^[2], 而焦化工序(焦化厂)则更具节能

发展空间。

国内外研究人员对炼焦工艺单元的节能减排进行了大量研究, 而对其在整个焦化工业过程中的应用则鲜有报道。本文对焦化工艺流程的节能技术研究状况进行了全面论述, 重点介绍生物质型煤(焦), 煤与废塑料共焦化和焦炉煤气高炉喷吹等, 分析指出了焦化工业中节能减排应用的未来发展趋势, 对于焦化工业中能源的有效利用具有一定的参考价值。

2 节能减排技术在焦化工业的应用研究

随着钢铁工业的迅猛发展, 目前世界的煤炭资源已经出现缺乏现象, 尤其是优质炼焦煤更是供不应求, 为了有效和合理的利用现有煤炭资源, 利用各种其它非炼焦煤、生物质和废塑料等来解决单种煤炼焦存在的问题, 保证各种用途的焦炭的质量, 人们开发了各种配煤炼焦工艺。

2.1 生物质型煤(焦)

资助信息: “十一五”国家科技支撑计划重大项目(2008BAB32B05)

目前国内外的炼焦配煤均建立在煤化学理论和煤岩学理论的基础上,在炼焦工艺中,新开发的捣固炼焦和型煤炼焦比传统炼焦工艺更加经济,环保。特别是生物质型煤炼焦更是具有低污染,环保、改善着火特性、提高经济性等优点,而且生物质资源种类繁多,主要包括农作物及农业有机剩余物、林木及林业有机剩余物、工业及社会生活有机废弃物等。生物质资源分布广泛,储量丰富,据统计,世界上生物质资源的年产量约为 1460 亿吨(干重)^[3]。据估算,每年可从森林及农业剩余物获得的潜在生物质能约为 30EJ,而每年世界范围的能量需求约为 400EJ^[4]。我国也是一个农业大国,生物质能资源十分丰富,其潜力折合 7 亿 t 左右,而目前年实际使用量为 2.2 亿 t 左右。因此生物质型煤炼焦受到国内外的焦化工作者的青睐。

生物质型煤是在 80 年代末发展起来的新技术。日本曾在面临石油危机的形势下开发了生物质型煤技术,将粉碎后的农作物秸秆碎屑混入煤中压制成型,其生物质含量占粉煤重量的 25%,具有良好的燃烧性能,燃烧效率高达 99%,加入 $\text{Ca}(\text{OH})_2$,脱硫率可达 80%^[5]。

中国是农业大国,生物质资源丰富。每年农作物秸秆年产量超过 6 亿 t,其中一半可作为能源利用。潘兰英^[6]通过对 3 种不同产地的煤泥作为原料,利用农作物秸秆作型煤粘结剂,加工生物质型煤,并对其性能进行研究。研究表明:煤种是影响生物质型煤机械强度的主要因素,其次是成型压力和粘结剂种类。依据本次试验确定出当以平顶山煤泥为原料,采用复合粘结剂,在成型压力为 20 MPa 下制备的生物质型煤具有最佳的机械强度。

印度十分注重生物质能方面的研究,主要依托国家性规划示范项目“农村地区生物质能计划”(Biomass Energy for Rural India Project, BERP)开展关键技术研发,推动重点项目的发展,促进生物质能产业化进程。而且印度加强生物质能源的国际合作,2006 年于巴西和南非签署了《关于生物质燃料的谅解备忘录》,建立三边生物质燃料特别工作组,加速生物质燃料的开发应用。印度理工学院 Shekher Das 等人^[7]通过实验发现,将含量约 32%高灰分和约 3%的低氢含量的非炼焦煤和含有低灰分和氢含量约 5%~7%的生物质材料混合,选取最高膨胀指数的组合在专用设计实验设备中进行扩大实验,对实验所得的焦炭进行质量检测,质量于三级铸造焦炭相似,符合铸造厂对焦炭强度的要求。

2.2 煤与废塑料共焦化

煤与废塑料共焦化技术,是新近发展起来的可以大规模处理混合废塑料的工业化实用型技术。该技术基于现有炼焦炉的高温干馏技术,将废塑料转化为焦炭、焦油和煤气,实现废塑料的资源化利用和无害化处理。由于该技术不需改动传统的炼焦工艺,可利用原有的炼焦设备对废塑料进行资源化利用,因此,国内外科研工作者进行了大量细致研究。

我国是塑料的生产、消费和进口大国,废塑料在冶金行业中应用的主要集中在高炉喷吹和与煤共焦化处理。中国科学院山西煤炭化学研究所煤转化国家重点实验室对煤与废塑料共焦化进行了大量基础研究^[8-11]。田福军等人^[8]在 10g 固定床反应器中,反应压力 0.2MPa、氮气气氛(气体流速 0.5l/min),采用程序升温即室温 \rightarrow 573K \rightarrow 873K 停留 15min 反应终止的条件下,考察添加聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)、聚苯乙烯(PS)及不同配比时与枣庄八一焦煤的低温共焦化特性,包括对焦煤的半焦、焦油产率及热解水生成率的影响;利用偏光显微镜进行半焦的光学各向异性组织分析。实验结果表明,焦煤的半焦产率基本上不受塑料的种类及添加配比的影响,焦油产率由 10%提高至 12~16%,同时热解水的生成率由 2.65%降至 0.8%;添加各种塑料均能改变半焦的光学各向异性,特别是提高片状、丝质状和纤维状组织的百分含量。为了考察添加废塑料与焦煤共热解过程中热失重行为和热塑性行为的变化。他们利用美国 CAHN-151 型高压热天平和美国宾西法尼亚大学的高压微型膨胀仪对其进行实验,实验结果表明,塑料的添加对热失重无明显影响,在热解机理相同的条件下,存在协同效应的关键是二者热解速率的匹配及失重温度区间的重叠;对热解过程的塑性影响结果表明,添加塑料降低了软化温度、固化温度、塑性区间及膨胀体积等,可见添加塑料使热解过程的塑性降低,由于塑料的添加在热解中增加了低分子液体产物的数量,从而宏观上半焦的粘结性没有明显变化^[9]。李东涛等人^[10]重点研究了不同废塑料太钢焦煤的热解协同作用,以及德国废塑料对不同煤种的热解行为的影响。研究发现共热解中废塑料与煤的协同作用主要受煤与废塑料二者之间的热解温区、失重峰温、失重速率的重叠程度及煤所形成的胶质体数量的影响。同时,废塑料与煤之间的相互作用

使得两者共热解失重的起始温度增高。运用常压固定床和偏光显微镜进一步研究不同煤种在添加废塑料后焦炭的光学组织结构变化。发现只有焦煤在添加废塑料后焦炭的光学结构得到很好改善;添加 5%的混合废塑料与炼焦配煤共焦化有利于提高产品的分布并能较好改善焦炭的光学结构;贫煤与沥青及废塑料三者的共焦化实验表明,沥青仅起到把不同的煤颗粒粘结在一起的作用^[11]。

为了利用焦化工艺处理废塑料的工业应用提供优化方案,东北大学国家环保生态工业重点实验室和首钢技术研究院^[12]合作利用 200 kg 焦炉试验,研究利用焦化工艺处理废塑料的产物特性。当 2 %添加剂与一定比例的废塑料和煤混合共焦化时,能够部分消除废塑料对焦炭冷、热强度存在的负面影响,提高冶金焦率,且焦炭的抗碎强度、耐磨强度、反应性和反应后强度得到不同程度改善。此外,废塑料、添加剂与首钢炼焦配煤按比例 1 : 2 : 97 混合共焦化能够显著提高冶金焦炭和焦油的质量,且焦炉煤气的热值提高,具有显著的工业应用前景。宝山钢铁股份有限公司研究院炼铁所钱晖等人^[13]首先进行了煤与 PE、PP、PET、PS 和脱氯 PVC 这 5 种塑料混合物热解过程的热重分析,在此基础上完成了煤与上述 5 种废塑料的 20kg 试验焦炉的共焦化试验,考察了不同种类废塑料对焦炭冷、热强度的影响。研究结果表明:煤和不同种类废塑料发生热解反应的温度区间及热解失重速率的温度分布曲线对共焦化后的焦炭强度有直接影响,表现为煤阶较高的烟煤与废塑料共焦化后焦炭强度下降。

日本的塑料回收一直处于世界先进水平,废塑料回收利用率接近 60%^[14]。新日铁 Seiji Nomura 等人^[15]焦炉中添加塑料的粒度对于焦炭质量的影响,就添加塑料 2%的比例来说,在含有聚乙烯(PE)的塑料颗粒尺寸为 10mm 以及含有聚苯乙烯(PS)的塑料颗粒尺寸为 3mm 的条件下焦炭的强度(DI_{15}^{150})达到最小值。出现这种情况的原因可归结于塑料和煤界面上形成弱的焦炭结构。此外,结果也表明大块废塑料(25mm)对于混合煤粉 1%的添加量不会增加炼焦压力。添加优质的聚乙烯粉体可以提高焦炭的强度,这是因为从煤与塑料分界面中收集的聚乙烯分解气体促进了微孔的增长和结合,这就提高了焦炭的微孔结构。

基于以上的基础研究,综合考虑对于废塑料的处理,确定利用焦炉实现废塑料大规模的循环利用,被利用的废塑料颗粒尺寸大约为 25mm。新日铁分别于 2000 年在名古屋厂和君津厂,2002 年于八幡厂和室兰厂开始利用焦炉来实现废塑料的循环利用过程。从 2003 年起,新日铁废塑料总的处理能力为每年 120,000 吨,而且这个工艺过程运行的很平稳。

2.3 焦炉煤气高炉喷吹

焦炉煤气(简称 COG)是在炼焦过程中的副产物,主要含大量的氢、甲烷。焦炉煤气的主要成分(体积分数, %): H_2 45~64, CH_4 20~30, CO 5~10, CO_2 2~5, O_2 0.1~4, C_nH_m 0.1~3。焦炉煤气的杂质中,碳氢化合物一般是 $C_2\sim C_5$ 等饱和烃和非饱和烃,除此之外还有苯族化合物、萘、有机硫、无机硫、氮氧化合物、氨、焦油等微量组分^[16]。炼焦煤在炼焦过程中,每生产 1 t 焦同时产生 430 m^3 焦炉煤气。钢铁工业生产焦炉煤气利用率为 97.71%,现在我国每年中小独立焦化厂放散的焦炉煤气达 240 亿 m^3 ,相当于国家西气东输年输气量的 2 倍^[17]。目前焦炉煤气主要用于发电、制取氢气和甲醇、高炉喷吹和生产直接还原铁。由于焦炉煤气是高 H_2 含量的能源气,用于高炉喷吹具有提供优质还原剂,替代部分焦炭,提高能量利用率和使用价值,减少高炉 CO_2 排放等优点,故高炉喷吹焦炉煤气符合焦化工业中节能减排要求,是焦炉煤气多个用途的最佳选择^[18]。

我国在二十世纪六十年代中期,本溪钢铁公司对容积为 332 m^3 的 1 高炉进行焦炉煤气喷吹实验研究,本钢 1 高炉吨铁喷吹煤气量为 81.6 m^3 ,焦比降低 60kg,产量提高 10%~11%。试验发现喷吹焦炉煤气后,高炉产量提高,焦比降低,生铁质量改善;间接还原发展,炉况顺行好;边缘和中心煤气流稍有发展,炉身各段压差升高,炉缸回旋区和氧化带缩短,理论燃烧温度降低。试验还证明,用空气压缩机压缩煤气是安全可靠的,但运行过程发现机体内壁沉积有焦油和萘等物。

美国钢铁公司 MON VALLEY 厂对焦炉煤气进行了必要的净化处理,于 1994 在该厂两座大型高炉上喷吹焦炉煤气,到 2005 年累计喷吹总量 14.16 万 t,吨铁喷吹量约为 150 Nm^3 ,减少了能源成本,年节约开支

超过 610 万美元。

法国索尔梅厂 2 号高炉于上世纪八十年代中旬喷吹焦炉煤气。用单级螺杆压缩机以每小时 21000m³ 的流量, 0.58MPa 的绝对压力。把脱除焦油并经脱萘处理的净化焦炉煤气通过一套压气装置送达高炉风口施行喷吹。根据实际操作数据, 算出焦炉煤气于焦炭的置换比为 0.73, 这一数值和法国钢铁研究院用数学模拟计算方法所得结果完全一致^[19]。

日本是研究高炉喷吹焦炉煤气较早的国家之一, 1961 年日本于八幡公司东田厂 646m³ 高炉上喷吹焦炉 (H₂ 52.8%, CH₄ 30.8%, CO 7.0%, C₃H₄ 3.8%)。喷吹焦炉煤气 55.4m³/tH, 提高风温 108℃, 降低湿度 5g/m³, 高炉生产率提高 7.2%, 焦炭消耗降低 6.5%。2009 年 7 月, 日本铁钢联盟公布了环境和谐型炼铁工艺技术开发^[20]——COURSE50 的研发内容。COURSE50 (CO₂ Ultimate Reduction in Steelmaking process by innovative technology for cool Earth 50) 是通过抑制 CO₂ 排放以及分离、回收 CO₂, 将 CO₂ 排放量减少约 30% 的技术。该项目主要的研发技术包括用氢还原铁矿石, 减少 CO₂ 排放的技术开发。焦炉煤气提高氢含量, 高炉喷吹含氢达 60% 的焦炉煤气的技术开发。钢铁厂生产焦炭时发生的焦炉煤气中含有 50% 以上的氢, 目前是作为钢铁厂内的燃料煤气有效利用。通过改质焦炉煤气中的焦油来提高氢含量, 并与焦炉煤气中的 CO 同时喷入高炉, 就可以降低高炉焦比。在这次技术中, 将改质焦炭干馏过程中发生的富氢煤气(焦炉煤气), 进一步提高 H₂ 含量。然后, 将这种气体从高炉下部或中部喷吹到高炉中。通过此项技术, 实现比传统高炉炼铁法高速、高效率减少 CO₂ 排放量的炼铁法。

综上所述, 喷吹焦炉煤气为高炉提供优质还原剂, 减少整个炼铁系统的 CO₂ 排放量。且工艺成熟, 技术可行。

3 新型环保炼焦工艺

3.1 无回收炼焦炉系统

无回收焦炉^[21]在 20 世纪初在澳大利亚 Illawarra 焦炭公司 (ICC) 的 Coalcliff 焦化厂首次正式投产。此种炼焦工艺具有流程简单; 无污水和苯等排放; 焦

炉生产时炉内为负压, 所以生产中无烟尘泄漏; 废热得到利用送去发电; 一次建设投资少等优点。无回收式焦炉系统的简要图如图 1 所示。

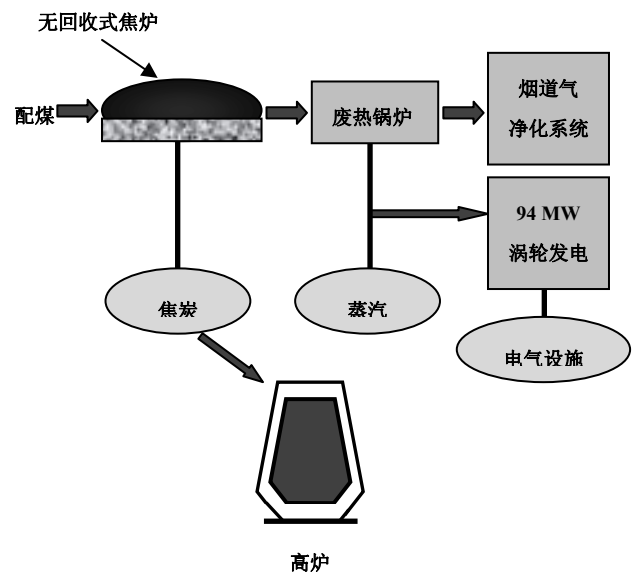


Figure 1. Schematic diagram of the non-recovery oven system
图 1. 无回收式焦炉系统的简要图

2000 年 TKEC 公司与宾西法尼亚公司 (PACTI) 和 ICC 公司技术合作将澳大利亚 COALCLIFF 焦化厂两孔炭化室改造成带无回收焦炉^[22]。新焦炉由硅砖砌筑, 每个炉墙设有 3 个下降气道, 底部设有 8 个可调节的二次空气道加热系统, 焦炉于 2001 年 6 月正式投产, 所得焦炭 M40 达 87.0%, M10 为 7.5%, 焦炭反应性为 25%, 反应后强度高达 70%, 质量较好。

国内无回收焦炉于 20 世纪 90 年代后期开发的, 应用较广的是山西省化工设计院获得国家专利的 QRD 清洁型热回收焦炉。该焦炉特点为: ①采用预捣固煤饼技术, 提高了焦炭质量; ②负压下采用侧装平推焦和平接焦技术, 炼焦全过程机会无烟尘外泄, 节能环保; ③可在炼焦煤中配入 40% 的粘连性无烟煤或 60% 瘦煤, 配煤指数达到 55 (传统炼焦工业要求为 65), 从而扩大炼焦煤资源, 降低了炼焦成本。

3.2 SCOPE21 炼焦系统

日本煤综合利用中心和日本钢铁联盟于 1994 年至 2003 年共同进行了长达 10 年之久的新一代炼焦工艺——SCOPE21 (21 世纪高效环保型超级炼焦炉) 的开发研究^[23]。从有效利用煤资源、提高焦炭生产率、

有利于环保和节能方面来看,SCOPE21 工艺^[24]是一种与 21 世纪发展相适应的创新炼焦工艺。该新工艺的基本概念如下:①煤炭资源有效利用。通过对煤快速加热,提高煤的粘结性,并通过干燥和粉煤成型,提高装炉煤的堆积密度,以改善焦炭质量。炼焦用非、弱粘结煤的使用比率则从湿装炉煤的 20%提高到 50%;②超高生产率技术。以往煤预热的温度为 200℃,现将装炉煤加热至热分解开始温度(350~400℃)提高炭化室炉墙的传热,采取中低温推焦等,以此大幅度缩短干馏时间。中低温推焦可能导致焦炭强度不够,对此可用干熄焦设备再加热,以确保焦炭质量。通过这些技术的组合,生产率可比现行工艺提高 3 倍;③节能技术。对装炉煤进行高温预热,提高干馏初始温度,并降低中低温干馏的推焦温度,以此降低干馏热量。另外,通过回收发生煤气和燃煤气的显热等寻求节能;④环保技术。煤焦采用密闭输送,防止焦炉漏气,改进焦炉燃烧结构,降低 NO_x 提高环保质量。SCOPE21 炼焦系统具体如图 2 所示。

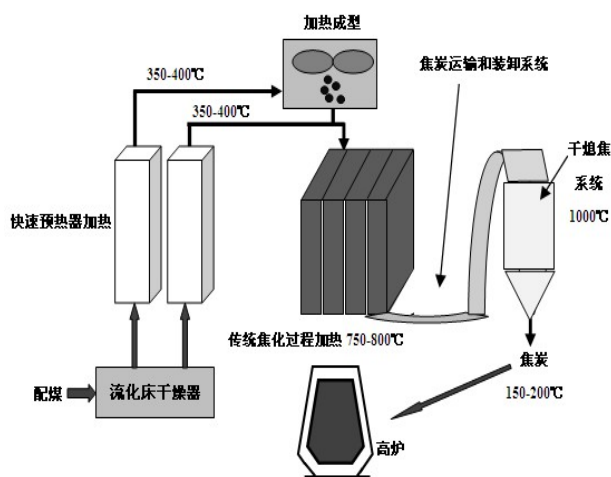


Figure 2. Schematic diagram of the SCOPE21 cokemaking system
图 2. SCOPE21 炼焦系统的简要图

半工业工厂于 2002 年 3 月到 2003 年 3 月在新日铁名古屋制铁所进行。试验结果如下^[25]:

(1) 焦炭质量。装入原料煤中非粘结煤的配比占 50%时, 1 年的焦炭平均强度 $DI_{150}^{150}=84.8$, 比现行炼焦工艺的焦炭平均强度 82.3 高 2.5。焦炭平均强度的提高不仅是由于提高煤松装比重的作用所致, 也是煤快速加热的作用所致。

(2) 生产率。在装入煤的温度 330℃、炉温 1250℃的条件下, 采用普通的湿煤操作的干馏时间是 17.5 h, 而采用 SCOPE21 可将干馏时间缩短至 7.5 h, 提高焦炭生产率 2.4 倍。

(3) 节能减排。干馏炉燃烧废气中的 NO_x 与试验结果完全一致, 炉温在 1250℃时, NO_x 浓度在 100×10^{-6} 以下。通过 CDQ 能源回收等, SCOPE21 工艺的节能效率比现行工艺的高 21%。

在世界首次采用“SCOPE21”技术焦炉在 2008 年 2 月于新日铁的 5 号焦炉实现工业应用。该 5 号焦炉采用“SCOPE21”技术后, 半软焦煤配比可提高到 50%, 与传统焦炉相比, 每年二氧化碳排放可降低约 40 万 t。拥有更高的生产率和更好的环保节能效果。

4 结论

随着世界资源枯竭、环境形势日益严峻, 如何实现焦化工业的环保及可持续发展是焦化工作者的当务之急。本文从焦化工业的节能减排技术研究现状、应用前景等进行了研究, 得出如下结论:

(1) 生物质型煤(焦)和煤与废塑料共焦化技术可代替部分煤粉而用作炼焦过程的原料和减少生物质和废塑料焚烧时产生的有害气体排放; 焦炉煤气高炉喷吹从而起到为高炉提供优质还原剂, 提高能源利用率和使用价值, 大大减少 CO₂ 排放量, 从而起到节能减排、降低煤粉燃料使用比例的效果, 具有重要的社会效益和经济效益。

(2) 新型环保炼焦工艺充分发挥了节能减排技术, 加大非炼焦煤的使用, 节约了宝贵焦煤资源, 且大大降低 CO₂、NO_x 等污染物的排放, 有利于焦化工业的技术进步和可持续发展。

References (参考文献)

- [1] Tian Jinglong. Energy consumption and energy saving analyses of top ten iron & steel plant [J], Energy For Metallurgical Industry, 2007, 26(6), P3-6.
田敬龙. 中国十大钢铁企业能耗分析及节能工作建议[J], 冶金能源, 2007, 26(6), P3-6.
- [2] Guo Hanjie, Yin Zhiming. Range of Recovery of Exhaust Heat in Metallurgical Enterprises [J]. Iron and Steel, 2007, 42 (2), P77-80.
郭汉杰, 尹志明. 钢铁冶金流程节能空间研究[J]. 钢铁, 2007, 42 (2), P77-80
- [3] Serdar Yaman. Pyrolysis of biomass to produce fuels and chemical feedstocks[J]. Energy Conversion and Management, 2004, 45, P651-671.
- [4] Peter McKendry. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass[J]. Bioresource Technology, 2002, 83, P37-46.
- [5] Su Junlin, Chen Huayan, Jiao Zhenwei. Research Status and

- Development of Biomass Compound Coa [J]. Energy Conservation Technology, 2008, 26(1), P83-86.
苏俊林, 陈华艳, 矫振伟. 生物质型煤研究现状及发展[J]. 节能技术, 2008, 26(1), P83-86.
- [6] Pan Lanyin. An experimental study on using slime and crops' straw to produce bio-briquette [J]. China Coal, 2009, 1, P61-63.
潘兰英. 煤泥和农作物秸秆加工生物质型煤的试验研究[J]. 中国煤炭, 2009, 1, P61-63.
- [7] Shekher Das, Sapna Sharma, Ratna Choudhury. Non-coking coal to coke: use of biomass based blending material [J]. Energy. 2002, 27, P405-414.
- [8] Tian Fujun, Li Wen, Li Baoqing et al. CO-Carbonization of Coal with Waste Plastics I. CO- Carbonization of Coal with Waste Plastics and Char Analysis [J]. Journal of Fuel Chemistry and Technology. 1999, 27(1), P57-61.
田福军, 李文, 李保庆, 等. 煤与废塑料共焦化基础研究 I. 固定床低温共焦化特性及半焦性质分析[J]. 燃料化学学报. 1999, 27(1), P57-61.
- [9] Tian Fujun, Li Wen, Li Baoqing et al. CO-Carbonization of Coal with Waste Plastics II. Thermo-Behaviors in CO-Pyrolysis of Coal with Plastics [J]. Journal of Fuel Chemistry and Technology. 1999, 27(2), P165-167.
田福军, 李文, 李保庆, 等. 煤与废塑料共焦化基础研究 II. 煤与塑料共热解的热行为[J]. 燃料化学学报, 1999, 27(2), P165-167.
- [10] Li Dongtao, Li Wen, Li Baoqing. CO-Carbonization of Coal with Waste Plastics III. Study of Synergism by Thermogravimetry [J]. Journal of Fuel Chemistry and Technology. 2000, 28(5), P439-442.
李东涛, 李文, 李保庆. 煤与废塑料共焦化基础研究 III. 协同作用的热重研究[J]. 燃料化学学报, 2000, 28(5), P439-442.
- [11] Li Dongtao, Li Wen, Li Baoqing. CO-Carbonization of Coal with Waste Plastics IV. Influence of Different Coals [J]. Journal of Fuel Chemistry and Technology. 2000, 28(5), P444-448.
李东涛, 李文, 李保庆. 煤与废塑料共焦化基础研究 IV. 煤种的影响[J]. 燃料化学学报, 2000, 28(5), P444-448.
- [12] Yu Guangwei, Cai Jiuju, Liao Hongqiang et al. Waste Plastics Disposal with the Traditional Coking Process [J]. Iron and Steel, 2004, 39 (12), P4-7.
余广炜, 蔡九菊, 廖洪强, 等. 利用焦化工艺处理废塑料试验研究[J]. 钢铁, 2004, 39 (12), P4-7.
- [13] Qian Hui, Zhou Yusheng. Study of Coke Making Experiments With Different Waste Plastic Blending [J]. Iron and Steel, 2010, 45 (1), P96-98.
钱晖, 周渝生. 煤与废塑料共焦化试验研究[J]. 钢铁, 2010, 45 (1), P96-98.
- [14] Editorial department of World Plastics. Foreign plastic recycling, processing methods, the relevant legislation [J], World Plastics, 2006, 24(11), P52-64.
世界塑料编辑部. 国外塑料回收情况、处理方法、相关立法 [J], 世界塑料, 2006, 24(11), P52-64.
- [15] Seiji Nomura, Kenji Kato. The effect of plastic size on coke quality and coking pressure in the co-carbonization of coal/plastic in coke oven [J]. Fuel, 2006, 85, P47-56.
- [16] Peter Diemer, Hans-Jürgen Killich, Klaus Knop. Potentials for Utilization of Coke Oven Gas in Integrated Iron and Steel Works [J]. Stahl und Eisen, 2004, 124(7), P21-26.
- [17] Wang Hai-feng, Zhang Chun-xia, Hu Chang-qing et al. Important Development Trends of Coke Oven Gas Utilization in Steel Plant [J]. Journal of Iron and Steel Research, 2008, 20(3), P1-4.
王海风, 张春霞, 胡长庆, 等. 钢铁企业焦炉煤气利用的一个重要发展方向[J]. 钢铁研究学报, 2008, 20 (3), P1-4
- [18] Sha Yongzhi, Cao Jun, Wang Fengqi. BF Coke Oven Gas Injection [C]. Seventh Annual Conference of Chinese steel TECHNOLOGY, Beijing, 2009, 1, P692-697.
沙永志, 曹军, 王凤岐. 高炉喷吹焦炉煤气 [C]. 第七届中国钢铁年会论文集, 北京, 2009, 1, P692-697.
- [19] N. Jusseu. Salmen plant NO.2 BF Coke Oven Gas Injection in France [J]. Energy for Metallurgical Industry, 1988, 7 (2), P61-62
N. Jusseu. 法国索尔梅厂号高炉喷吹焦炉煤气 [J]. 冶金能源, 1988, 7 (2), P61-62
- [20] The Technical Society, the Iron and Steel Institute of Japan. Production and Technology of Iron and Steel in Japan during 2009 [J], ISIJ International, 2010, 50(6), P777-796.
- [21] Zhong Yingfei. Comment on Cokemaking Process and No Recovery Coke Oven Batteries [J]. Fuel & Chemical Processes, 2001, 32 (2), P57-61
钟英飞. 对各种炼焦工艺及无回收焦炉的评述 [J]. 燃料与化工, 2001, 32 (2), P57-61
- [22] Zhang Ying. The Developing Trend of Coking Industry [J]. SCI/TECH Information Development & Economy, 2005, 15(8), P149-150.
张莹. 炼焦工业的发展趋势 [J]. 科技情报开发与经济, 2005, 15(8), P149-150.
- [23] The Technical Society, the Iron and Steel Institute of Japan. Production and Technology of Iron and Steel in Japan during 2009 [J], ISIJ International, 2008, 49(6), P749-770.
- [24] M.A. Díez, R. Alvarez, C. Barriocanal. Coal for metallurgical coke production: predictions of coke quality and future requirements for cokemaking [J]. International Journal of Coal Geology, 2002, 50, P389-412.
- [25] Liao Jianguo. Development of the Innovative Cokemaking Process (SCOPE21) for the 21st Century [J]. China Metallurg, 2005, 15(3), P11-14.
廖建国. 新一代炼焦技术 (SCOPE21) 的开发 [J]. 中国冶金, 2005, 15(3), P11-14.